

능동형 단거리 전용통신 검지체계를 이용한 주기변동 기반 신호제어 모형 개발

한동희* · 정상문** · 이영인***

<目 次>

I. 서론	1. 현시비를 산정
1. 연구의 목적	2. 주기길이 및 현시길이 산정
2. 연구의 범위 및 방법	IV. 모형의 적용결과 및 평가
II. 신호제어모형 및 검지체계 고찰	1. 평가방법
1. 신호최적화 모형	2. 평가시나리오
2. 교통대응 신호제어	3. 평가결과
3. 주기변동기반 신호제어	V. 결론
4. 능동형 단거리 전용통신 검지체계	참고문헌
III. 모형의 개발	

I. 서론

1. 연구의 목적

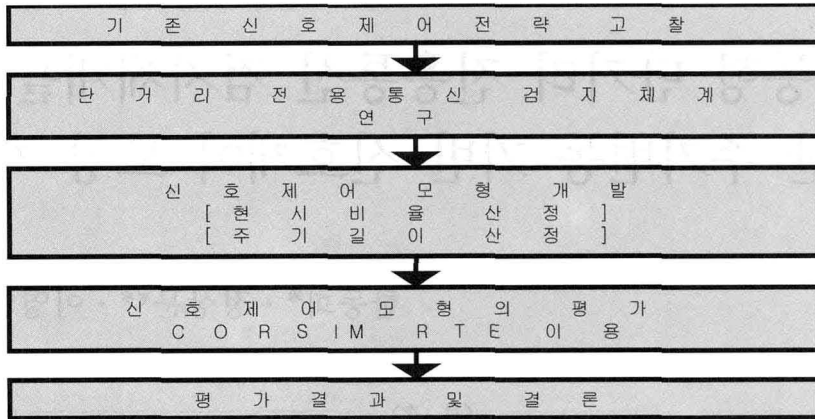
최근 정보통신기술의 발달로 시·공간적인 제약 없이, 필요한 정보를 얻을 수 있게 됨에 따라 도로나 차량내부 등과 같은 이동환경에서도 다양한 정보를 활용할 수 있는 환경이 구축되고 있으며 특히 도로변 기지국과 통신영역을 통과하는 차량들 사이에 양방향 고속 통신할 수 있는 능동형 단거리전용통신(Dedicated Short Range Communication, DSRC) 기술은 국내에 이미 구축된 통신기반 하에 다양한 개별차량정보를 수집, 가공 및 제공을 가능하게 하고 있다.

1960년대 컴퓨터 기반의 신호제어방법의 등장 이후 최적의 교통신호제어 시스템을 구현하기

* 서울대학교 環境大學院 박사과정 재학

** 서울대학교 環境大學院 석사과정 재학

*** 서울대학교 環境大學院 교수



〈그림 1〉 연구진행절차

위한 많은 연구가 진행되어 왔지만 대부분의 신호제어 전략이 신호교차로의 지점 검지체계에서 제공되는 제한된 정보에 의한 교통수요 예측에 의존하게 되어 제어운영의 질을 높이는 데 일정 부분 한계가 있는 상황이다.

기존의 검지체계가 모든 차량을 검지할 수 있는데 반해 단거리 전용통신 검지체계는 차내 장치들을 가진 차량에 한해 검지가 가능하다는 점이 아직 해결되어야 할 문제이지만, 최근 RFID 등의 보급 및 관련기술의 발전상황을 고려할 때, 보다 정확하고 다양한 교통정보를 수집할 수 있는 무선통신 검지체계는 머지않아 구축될 수 있을 것으로 판단된다.

신호제어전략의 성패는 실제 교통류 특성을 실시간으로 반영하는 모형을 통한 시스템개발에 의존적일 수 있으며, 다양한 차량검지기술의 개발과 교통 및 통신기술의 첨단화로 다양한 교통 상황에 교통류를 실시간으로 대응할 수 있는 무선통신기술을 활용하는 신호제어 모형은 효율성과 적용성 측면에서 보다 향상된 신호제어 결과를 산출할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 본 연구에서는 단거리전용통신 검지기술을 기반으로 수집되는 개별차량정보를 이용한 주기변동 신호제어 모형을 개발하였다.

2. 연구의 범위 및 절차

본 연구는 독립교차로의 신호제어를 대상으로 하고 있으며 전체적인 연구 절차는 다음의 그림과 같다.

II. 신호제어 모형 및 검지체계 고찰

도시부 도로의 신호 운영에서 교통시스템은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 정주기식은 사전에 수집된 교통자료를 기반으로 off-line 상태에서 요일별, 시간대별로 신호시간을 설정하는 방식이

다. 패턴방식은 검지기로부터의 검지자료와 예측된 교통량에 기초하여 교통수요에 적합한 신호시간을 산출하는 방식이다. 3세대 제어는 완전한 교통대응 실시간 신호제어를 실행하기 위한 것으로 신호주기까지도 변경 가능하도록 한 시스템이다. 정주기식과 패턴선택방식을 위한 신호시간 결정모형으로 지체도 최소화 모형과 통과 폭 최대화 모형을 살펴보고 on-line제어로서 실시간 신호시간 값을 결정하는 영국의 SCOOT, 호주의 SCATS, 일본의 STREAM, 한국의 신신호시스템을 살펴본다. 그리고 제3세대 제어 방식으로 신호주기 변동기반 신호제어시스템을 고찰하였다.

1. 신호최적화 모형

1) 지체도 최소화 모형

지체도 최소화 모형에 가장 널리 사용되어지는 시뮬레이션 프로그램은 TRANSYT-7F¹⁾이다. 이는 개개의 차량을 밀집군(Platoon of vehicles)으로 묶어서 차량의 지체도와 정지 횟수의 선형 조합 함수(Linear combination function)로 표현되는 성과지수(Performance index)를 효과측정의 기본변수로 하며, 이 성과지수를 최소화 하는 현시시간과 옵션을 선택하여 신호시간을 결정한다.

2) 통과 폭 최대화 모형

통과 폭 최대화 모델은 최적현시순서, 옵션, 주기길이를 선택하여 진행 방향의 녹색진행대의 합계를 최대화하는 것이다. 통과 폭을 극대화하기 위해 혼합정수 선형프로그램 모델을 독창적으로 정형화하였는데, 1980년대에 MAXBAND라 불리는 컴퓨터 프로그램이 간선도로와 삼각 교통망을 따라 통과 폭을 극대화하기 위해 개발되었다. 후에 Gartner 등은 단일 요인에 비해 링크 특성에 따른 가중 요인을 허용하도록 MULTIBAND²⁾를 개발하였다. 지체 기준 모델에 비해 진행대폭 기준모델의 이점은 전체 간선을 따라 진행을 최적화 하는 최선의 신호현시 순서를 선택할 능력을 가진 것이다.

2. 교통대응신호제어(Traffic Adaptive)

교통대응제어 방식의 경우 현재의 교통상황을 기반으로 하는 실시간 시간계획을 하기 위한 on-line 최적화과정을 포함하는데, 차량검지기과 예측된 교통량으로부터 얻어진 자료를 기반으로 하여 실시간으로 신호시간계획을 계산하고, 실행하는 on-line모델이다.

1) SCOOT

영국은 SCOOT(Split, Cycle, Offset Optimization Technique)를 개발하여 도시간선도로의 신호제어를 실시하고 있다. SCOOT는 실시간 신호제어용 시스템으로 교차로 상류부에 루프검지기 배

1) TRAFFIC Network StudY Tool, University of Florida (United states Version, 2004).

2) A Multi-Band Approach to Arterial Traffic Signal Optimization, Nathan H, Gartner, Transportation research B Vol. 25B, No. 1, pp. 55-74, 1991.

설하여 수집된 교통정보를 기반으로 매 4초마다 모든 교통링크에 대한 주기적인 교통 흐름을 산정하며, TRANSYT-7F의 분산모형을 이용하여 하류부에 교통류를 표현하였다. SCOOT는 신호 주기(cycle length), 신호현시(split), 오프셋(offset)의 3가지 변수를 최적화 하는 최적화기(Optimizer)를 가지고 있어서 이러한 변수를 실시간으로 최적화함으로써 차량지체와 정지수를 최소화하는 것을 목표로 하고 있다.

2) SCATS

호주는 실시간 교통관리시스템으로 SCATS(Sydney Co-ordinated Adaptive System)을 구축한 후 ATCS(Advanced Traffic Control System)의 핵심제어시스템으로서 교통 혼잡을 완화하고, 교통류를 분산하며, 교통사고를 감소시키는 것을 목표로 하는 STREAM(Strategic Realtime Control for Megalopolis-Traffic)을 개발하였다. STREAM시스템은 1995년 4월부터 가동되어, 약 16,000개의 차량검지기로부터 정보를 수집하여 약 6,800개의 신호기를 제어하고 있다.

3) COSMOS

COSMOS(Cycle Offset Split Model Of Seoul)는 교통량의 급격한 증가와 통행패턴의 변화에 대비하여 교통류를 실시간 제어함으로써 교통류 변화에 대응한다. COSMOS의 기본신호제어 전략은 교통대응 전략으로, 이는 변화하는 교통상황정보를 매 신호주기 별, 현시 별로 수집하여 중앙컴퓨터 시스템에서 자료를 분석, 처리하여 각 교차로의 신호시간을 설정하고, 인접교차로 신호연동을 자동적으로 결정하는 신호제어 전략이며 간선도로의 교차로 군 내에서 오프셋을 맞추기 위하여 교차로군의 모든 교차로의 주기를 동일하게 설정하고 운영하게 된다.

3. 주기변동기반 신호제어 모형

UTCS(Urban Traffic Control System) 3세대 제어 소프트웨어는 완전감응 Online 교통제어 시스템으로서 실행되고 평가되기 위해 개발되었다. 3세대 소프트웨어는 각각의 주기마다 주기길이 가 달라지는 것을 허용하였으며 이러한 설계 접근법은 일련의 고정시간, 고정주기기반신호시간 계획을 가진 기존의 제어시스템과 3세대 제어가 갖는 차이점이다. 3세대제어 소프트웨어는 다음과 같은 독특한 운영 특징을 갖는다.³⁾

주기변동기반의 UTCS제어전략의 특징을 살펴보면 첫째, 신호시간은 적어도 매 3.5분마다 모든 제어기에서 계산된다. 둘째, 신호오프셋과 split은 각각의 접근로와 네트워크 연동을 위해 차량지체와 정지수를 최소화 하도록 결정된다. 셋째, 혼잡경로를 파악하고 제어알고리즘은 조건이

3) Nathan H. Gartner, Chronis Stamatiadis, and philip J. tarnoff, "Development of Advaced traffic Signal Control Strategies for intelligent Transportation Systems: Multilevel Design" TRR 1494. 1995.

〈표 1〉 3세대의 특징

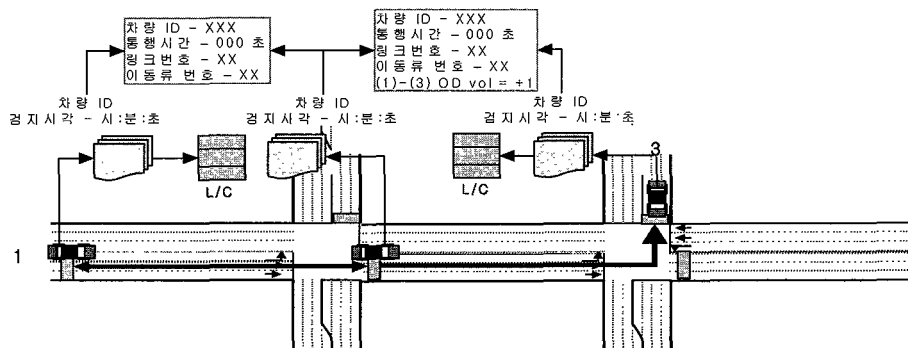
특징	1 세대	2 세대	3 세대
최적화	off-line	on-line	on-line
변경빈도 (Frequency of update)	15분	5분	2.0~3.5분
시간계획의 수	40개까지	제한없음	제한없음
교통예측		유	유
중요교차로 제어	분할비 조정 변동	분할비, 옵셋 변동	분할비, 옵셋, 주기변동
제어계층 구조	패턴선택	패턴선택	혼잡, 중간 교통흐름
주기길이 고정여부	각각의 구간 내에서 고정	교차로의 변경그룹 내에서 고정	주기길이 변경

지속되는 동안 혼잡상태를 서비스하도록 특별히 설계되었다.

4. 능동형 단거리 전용통신 검지체계

본 연구의 대상 검지체계인 IR-DSRC(Infrared -Dedicated Short Range Communications: 적외선 단거리전용 무선통신)와 CALM-IR(Communications, Air Interface, Long and Medium Range-Infrared: 광대역 적외선 통신) 모듈 및 기타 FM 모듈, GPS 모듈 등은 대부분의 제품들이 상용화되어 실험을 위한 다양한 매체기술이 확보되어 있다.

DSRC검지체계하에서 차량의 검지는 노변에 설치된 노변장치(Roadside Equipment, RSE)를 통해 차내 단말기와 무선통신으로 차량의 속도, 위치, 차종, 앞차와의 간격 등 실시간 교통류 및 차량데이터를 송수신하고 이는 노변장치를 통해 지역제어기와 유선 혹은 무선통신으로 데이터가 전송 및 수신된다.



〈그림 2〉 DSRC 검지체계

본연구에서 그룹전제하고 있는 검지시스템의 개념을 그림으로 표현하면 <그림 2>와 같다.

III. 모형 개발

1. 현시비율 산정

1) 개별차량의 지체 측정

본 연구에서 개별차량의 지체는 순행지체를 적용하였다, 순행지체는 차량의 주변의 교통조건이나 운영조건에 영향을 받지 않고 도로조건에 의해서만 영향을 받는 자유속도(Free flow Speed)로 주행한 시간과 실제통행시간과의 차이를 나타내는데 개별차량(i)의 지체산정과정은 다음과 같다.

순행지체[i] = Travel Time[i] - 자유통행시간(초)

$$\text{자유통행시간(초)} = \frac{\text{LinkLength}(m)}{\text{freeflowspeed}(m/s)}$$

2) 이동류별 교통량비 추정

본 연구에서 적용하고자 하는 현시분할 방법은 DSRC 검지체계에서 산출되는 지체값을 활용하는 것이다. 기본적으로 신호교차로에서 현시분할은 V_i/S_i 을 이용하게 되는데, 따라서 본 연구에서는 DSRC 검지체계에서 산출되는 지체값을 통하여 V_i/S_i 값을 추정하는 방법을 제안하였다.

현시비율 산정을 위해서는 이동류별 v/s 값, 즉 수요교통량을 산정하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 수요교통량을 산정하기 위해서, DSRC 검지체계에서 산출되는 개별차량의 지체를 주기별, 이동류별로 합산하여 이를 이동류별 지체로 환산하였으며, 산정된 이동류별 지체 값을 HCM의 지체식에 대입하여 포화도(X_i) 및 교통량비(flow ratio: v/s)를 추정하였다. 추정된 교통량비를 이용하여 이동류별 현시분할에 이용하였으며 HCM의 지체식 및 이를 이용한 포화도 및 교통량비(v/s) 산출식은 아래와 같다.

$$D_i = \frac{0.5C(1 - \frac{g_i}{C})^2}{1 - [\min(1, X_i) \frac{g_i}{C}]} + 900T((X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2}) \quad (1)$$

위의 지체식의 계산에 있어 크게 두 가지 경우로 나눌 수 있다. 포화도가 1보다 큰 경우와 포화도가 1보다 작은 경우인데, 그 판정기준은 다음과 같다.

Case 1(포화도 ≤ 1): $D_i \leq 0.5C(1 - \frac{g_i}{C})$

Case 2 (포화도 > 1): $D_i > 0.5C(1 - \frac{g_i}{C})$

Case 1의 경우 - 식(1)의 두 번째 부분은 0이 됨.

$$X_i = (1 - \frac{C(1 - \frac{g_i}{C})^2}{2 \times D}) \times \frac{C}{g_i}$$

Case 2의 경우 - 식(1)의 첫 번째 부분의 포화도 값은 1이 됨.

$$X_i = \frac{D - 0.5C(1 - \frac{g_i}{C})}{0.5 \times C} + 1$$

여기서,

D_i = 이동류 i 의 차량당 평균지체(초/대)

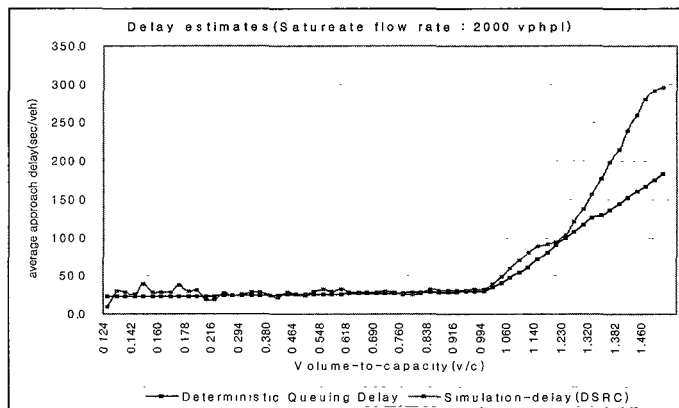
C = 주기(초)

g = 해당 이동류에 할당된 유효녹색시간(초)

X_i = 해당차로군의 포화도

위와 같은 방법으로 계산된 포화도 값과 포화교율류를 및 현시시간을 통하여 해당 주기에서의 수요교통량 값 및 $y_i(V_i/S_i)$ 값을 추정할 수 있다

$$\frac{V_i}{S_i} = X_i \times \frac{g_i}{C}$$



〈그림 3〉 지체값 비교

위와 같이 실측 지체도 값을 통해 산출된 교통량비와 지체값의 관계를 그래프로 나타내면 <그림 3>과 같다.

<그림 3>에서와 같이 과포화가 진행될수록 DSRC 검지체계의 지체값과 HCM 지체의 값에 차이가 발생하며, 비포화시의 경우 DSRC체계의 지체값의 변동이 발생함을 알 수 있다. 따라서 향후 이를 안정화시킬 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3) 현시비율 및 Barrier 결정

각 이동류별 현시비율을 산정하기 위하여 이동류별 차량당 평균순행지체를 기준으로 신호시간을 분할하였다. 이동류별 지체를 기준으로 지체가 큰 이동류에 녹색시간을 많이 제공하여 이동류의 흐름을 원활히 하여 교차로 전체의 효율성을 높이하고자 하였다.

Barrier 추정 및 각 이동류별 현시비율은 아래와 같이 산정되었다.

(1) Barrier 산정

$$y[1] = \text{Max}(y_1, y_1), y[2] = \text{Max}(y_2, y_6)$$

$$y[3] = \text{Max}(y_1, y_7), y[4] = \text{Max}(y_4, y_8)$$

$$\text{Sum}_y = y[1] + y[2] + y[3] + y[4]$$

$$\text{Barrier} = (y[1] + y[2]) / \text{Sum}_y$$

(2) 현시비율 산정

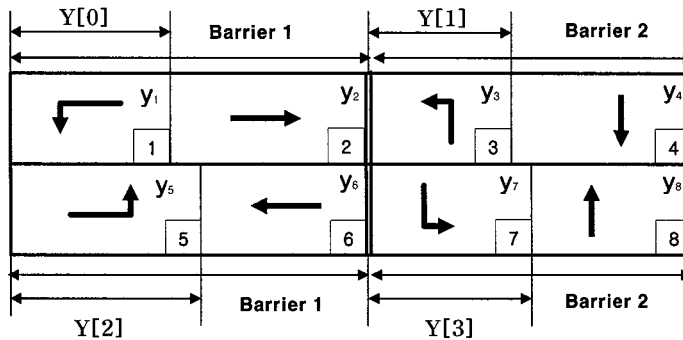
$$Y[0] = y_1 / (y_1 + y_2), Y[1] = y_3 / (y_3 + y_4)$$

$$Y[2] = y_5 / (y_5 + y_6), Y[3] = y_7 / (y_7 + y_8)$$

여기서,

y_i = 이동류 i 의 교통량비(v/s)

$Y[i]$ = 이동류 i 의 현비비율



<그림 4> Dual Ring Phase에서 현시비율

2. 주기길이 및 현시길이 산정

본 연구에서는 기존의 주기변동 기반 신호제어에서 사용한 방법을 이용하였다. 즉, 신호주기 산정을 위하여 다음 주기에 교차로 진입교통량을 예측하여 지체를 최소화 시키는 신호주기를 선택하였다.

1) 진입검지 차량정보를 이용한 진입 교통류율 추정

교차로 진입부에 설치된 검지기에 검지된 검지자료를 활용하여 진입교통류율을 다음과 같이 산출한다.

$$\text{진입교통류율} = \frac{INVOL(k)}{Headway}$$

여기서, $INVOL(k)$ = 시간 k 에서의 진입교통량

$Headway$ = 앞 차량과의 차두시간 간격

2) 정지선 진입교통류율 추정

진입부 검지기에 도착한 차량은 일정시점이 지난 후 교차로에 도착하게 되는데, 본 연구에서는 진입부에 도착한 차량을 차량군 분산모형을 적용하여 교차로 정지선에 도착하는 교통류율을 산정하였다. 본 연구에서 적용한 분산모형은 TRANSYT-7F에서 적용하는 Roberson Model⁴⁾을 사용하였으며 차량의 링크 이동시, 『차량군 분산 모형』을 적용되었으며, 시간 단위(time step)는 1초로 설정하였다. 따라서 차량 밀도는 1초 단위 당 교통류율로 표시되어 진다.

$$v'_{(t+\beta t_a)} = F \cdot v_t + [(1 - F) \cdot v]$$

$$F = \frac{1}{1 + \alpha \beta t_a}$$

여기서,

$v'_{(t+\beta t_a)}$ = t 시간 후 Step t 에서 관측 지점을 통과한 교통량

v_t = step t 에서 정지선을 통과한 차량 밀도

β = 경험식에 의한 값, 일반적으로 0.8을 사용

t_a = 자유속도로 대상 링크를 주행한 시간(초)

F = 완화 계수(Smoothing factor)

α = TRANSYT-7F의 경험적인 차량 군 분산 계수

여기서 α 는 경험적인 차량 군 분산계수(Platoon Dispersion Factor)로서 링크의 마찰에 따라 적

4) Transyt-7F User's Guide United state version, Univ of Florida, 2004.

용되는 파라미터로 본 연구에서 도시부도로의 일반적인 상황을 나타내는 분산계수인 0.35를 적용하여 분석함

3) 예측교통량 추정

다음 주기에 교차로 정지선에 진입할 것으로 예상되는 교통량은 진입부 검지기에 실제 검지된 데이터가 교차로에 진입할 것으로 판단되는 교통량과 이전주기와 동일한 패턴을 가지고 진입할 것으로 예측한 교통량을 합하여 다음 주기의 예측교통량을 추정하였다.

예측교통량 = 실제진입교통량 + 이전주기 패턴을 반영한 예측교통량

실제진입교통량에 대한 반영: 실제 진입검지기에서 검지된 차량이 정지선에 도착하는 교통량 예측

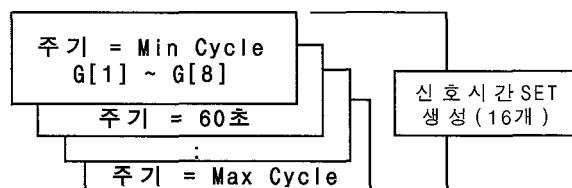
여기서 실제 진입 교통량은 상류부 검지기에서 실제 검지된 교통량으로 일정시간 경과 후 차량군 분산모형에 의해 정지선에 도착할 교통량을 의미한다. 그리고 아직 상류부 검지기에 도착되지 않은 교통량, 즉 다음 주기에 진입할 것으로 예상되는 교통량은 전주기의 교통량 패턴대로 진입할 것으로 전제하고 이를 반영하였다.

이렇게 산정된 예측교통량에 이전 주기에서의 회전비율을 고려하여 최종적으로 이동류별 예측교통량, 즉 예측교통류율을 산정하게 된다.

4) 주기별 신호시간 SET 생성

본 연구에서는 다수의 주기별 신호시간 set을 만들어 각 set의 지체를 산정하여 지체가 최소가 되는 신호시간 set을 다음주기에 교차로에 반영한다. 각 신호시간 set은 Min Cycle(50초)에서 Max Cycle(200초) 사이에서 10초 간격으로 신호시간 set을 생성되며, 각 set의 신호시간은 주어진 주기길이에 미리 산정된 이동류별 현시비율을 이용하여 실제 현시길이를 결정하게 된다.

다음주기의 신호시간을 결정하기 위하여 현시비율과 Barrier 비율을 이용하여 각 주기에 따른 현시길이 및 베리어의 길이를 산정하는데, Barrier 길이는 Min Bar와 Max Bar를 고려하여 적절한 Barrier 길이를 산출하였고, green time은 각 이동류별 Min G와 Max G를 고려하여 신호현시



〈그림 5〉 신호시간 SET 생성

가 특정현시에 너무 작거나, 과도한 신호배분이 되지 않도록 보정하였다.

(1) Min bar 보정을 통한 Barrier 길이 산정

$$\text{bar1} = \text{Cycle} \times \text{Barrier}, \text{bar2} = \text{Cycle} - \text{bar1}$$

만약 $\text{bar1} < \text{nMin } G[0] + \text{nMin } G[1]$

$$\text{bar1} = \text{nMin } G[0] + \text{nMin } G[1],$$

```
bar2 = Cycle - bar1
```

만약 $\text{bar1} < \text{nMin } G[4] + \text{nMin } G[5]$

$$\text{bar1} = \text{nMin } G[4] + \text{nMin } G[5],$$

```
bar2 = Cycle - bar1
```

만약 $\text{bar2} < \text{nMin } G[2] + \text{nMin } G[3]$

$$\text{bar2} = \text{nMin } G[2] + \text{nMin } G[3],$$

$$\text{bar1} = \text{Cycle} - \text{bar2}$$

만약 $\text{bar2} < \text{nMin } G[6] + \text{nMin } G[7]$

$$\text{bar2} = \text{nMin_G}[6] + \text{nMin_G}[7],$$

```
bar1 = Cycle - bar2
```

(2) 이동류별 녹색신호시간 산정

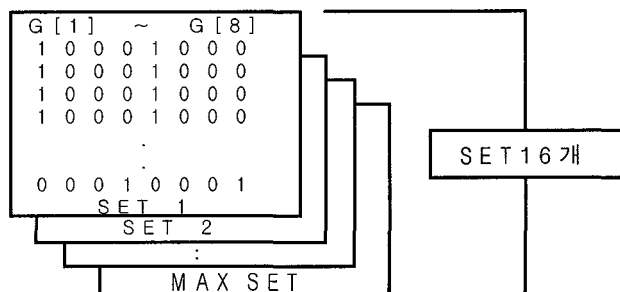
현시비율과 Barrier 길이를 이용하여 이동류별 녹색신호시간 산정하였으며, Dual Ring 현시번호 체계를 수용하였다.

$$G[0] = Y[0] \times \text{bar1}, G[1] = \text{bar1} - G[0]$$

$$G[2] = Y[1] \times \text{bar2}, \quad G[3] = \text{Cycle} - G[0] - G[1] - G[2]$$

$$G[4] = Y[2] \times \text{bar1}, G[5] = \text{bar1} - G[4]$$

$$G[6] = Y[3] \times \text{bar}2, G[7] = \text{Cycle-}G[4] - G[5] - G[6]$$



〈그림 6〉 SET별 Signal Map 생성

위에서 산정된 현시길이가 각 현시의 최소녹색시간과 비교하여 각 현시의 Green Time이 최소녹색시간 이상을 갖도록 보정하였다.

5) 주기별 예측정지지체 산정

지금까지 산정된 예측교통류율을 신호시간계획에 적용하여 각 신호시간계획(set)에 따른 지체를 산출하게 된다. 즉 신호시간을 고려하여 정지선누적 예측교통류율을 산정하고 이를 이용하여 시간대별 정지지체를 산정하였다.

신호계획상에서 주어진 주기길이내에서 매 초별 특정 시간에서의 이동류의 신호등화가 GREEN인 경우 정지선 누적교통량은 이전시간의 정지선 누적교통량에 예측진입교통량을 합하여 정지선 누적교통량을 산정하고, 유출교통량을 추정하여 정지선 누적교통량에서 제외시켜주게 된다.

이 때, 정지선누적교통량이 포화유출 교통류율보다 큰 경우 정지선 누적교통량에서 포화유출교통량을 빼준 교통량이 정지선 누적교통량이 되고, 정지선누적교통량이 포화유출교통량 보다 작은 경우에 정지선 누적교통량은 0이 된다. 이는 정지선의 대기차량이 존재하지 않음을 의미한다.

신호등화가 RED인 경우 유출교통량은 없는 상황이고 차량군 분산모형에 따라 정지선에 누적되는 진입교통량에 따라 정지선 누적교통량이 산정되며, 이 자료를 누적하여 정지지체를 추정하게 된다.

6) 정지지체가 최소가 되는 신호주기 산정

각 신호시간 SET의 시간대별 정지선 누적교통량을 추정하여 이를 이용하여 정지지체를 산정하고, 각 신호시간 SET별 산정된 정지지체를 비교하여 지체가 최소가 되는 신호시간 계획을 최종적으로 선택하게 된다.

IIV. 모형의 평가

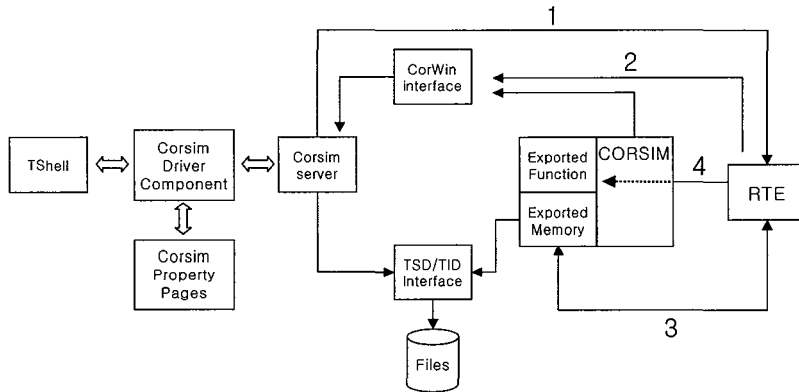
1. 평가방법

본 연구에서는 Corsim의 RTE(Run-time Extension)를 이용하여 평가체계를 구축하였다.

(1) Corsim RTE(Run-time Extension)개요

TSIS 5.1에서는 Run-time Extension의 운영을 지원하고 있는데 Run-time Extension은 CORSIM Driver Component라는 매개체를 통하여 CORSIM의 실행과, Output처리, 그리고 사용자가 제공한 RTE를 관리할 수 있다. Corsim에서 실행되는 주요 프로세스는 <그림 7>과 같다.

CORSIM이 수행되는 동안 CORSIM Server는 루프검지기를 운영하기 위한 다양한 CORSIM의



〈그림 7〉 RTE 프로세스

기능들을 호출한다. CORSIM Server는 CORSIM으로부터 얻은 자료를 기초로 하여 RTE를 실행 시키라는 명령을 하게 되며 CORSIM은 매초 RTE에게 시뮬레이션 처리 과정에 대한 Message를 보내게 된다. 이러한 처리과정이 그림상의 1번 과정이다.

TSIS는 또한 CORWin이라는 인터페이스를 제공하는 데 이것은 RTE가 CORSIM Server에 신호 처리 등의 Message를 보낼 수 있게 한다(2번 과정).

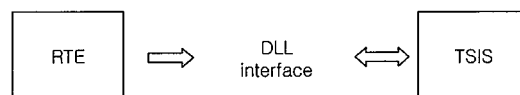
RTE는 서로 메모리를 공유하기 때문에 CORSIM의 Data 구조에 직접적으로 접근할 수 있다. 공유된 정보는 RTE가 시뮬레이션을 함으로서 얻을 수 있는 결과들에 접근할 수 있도록 함은 물론 시뮬레이션을 control할 수 있도록 해 준다(3번 과정).

마지막으로, RTE는 CORSIM의 기능에 직접적으로 접근할 수 있다(예로 시뮬레이션을 중지하여야 하는 경우: 4번 과정). TSIS와 RTE의 연결 개요도는 〈그림 8〉과 같다.

위에서 보는 것과 같이 신호제어 모형을 RTE내에 프로그래밍하여 compile시키면 dynamic-link library인 확장자가 DLL인 파일이 생성되며, 이렇게 생성된 파일은 TSIS와 매초 정보교환을 하게 된다.

(2) Corsim RTE를 활용한 평가체계 구축

본 연구에서 개발된 신호제어 모형은 CORSIM의 Run Time Extension으로 프로그래밍되었다. TSIS와 RTE(본 모형)를 연동시킴으로서 실시간으로 정보를 주고받으며, 매초마다 TSIS에서



〈그림 8〉 RTE와 TSIS 연결 개요도

시물레이션 된 결과(검지된 DATA)를 바탕으로 신호제어모형에서 적절한 주기 및 신호시간을 계산하며, 이렇게 계산된 자료는 주기마다 TSIS로 정보를 주게 된다.

본 연구에서 사용하는 단거리 전용통신 검지체계를 TSIS에서 구현하기 위해서는 유입교통량, 링크통행시간, 개별차량 ID, 개별차량의 검지시간, 주기종료 시점의 유출교통량 등의 검지자료가 필요한데, RTE 모듈을 통하여 이와 같은 자료를 TSIS에서 산출하는 것이 가능하다. 그리고, 신호제어 모형의 효율성 등은 TSIS에서 제공하는 효과척도 자료 등을 통하여 확인할 수 있으며 다음과 같은 이점이 있다.

첫째, 매 주기별 교통상황에 따라 신호시간이 달라지는 교통대응, 감응 신호제어 모형은 안전성, 비용 등의 문제로 현장실험이 어려운 경우가 많은데, 이를 검증된 시물레이터를 통하여 다양한 교통상황 하에서 검증, 평가할 수 있다. 둘째, 각 시스템간의 연결이 적절히 이루어지고 있는지를 쉽게 확인 할 수 있다. 즉, 검지시스템의 검지자료가 적절히 신호시간에 반영되고 있는지를 평가할 수 있다. 또한 신호모형의 수정 및 변경이 용이하다. 셋째, 가상적인 상황(각종 돌발상황 혹은 교통상황)을 쉽게 재현할 수 있으며 이를 control 할 수 있다.

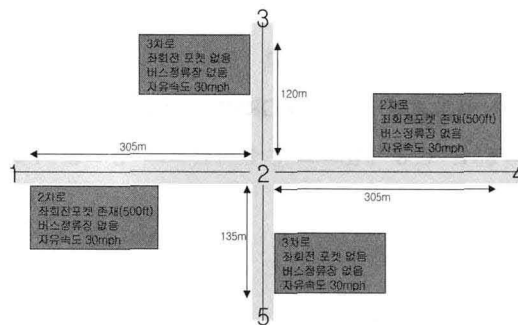
2. 평가시나리오

1) 모의실험 개요

본 연구의 모의실험 네트워크는 5개의 노드와 4개의 링크로 구성되어 있고, 남북방향은 편도 3차로이며 좌회전 포켓이 존재하지 않는다. 동서방향 링크는 편도 2차로이며 150m 길이의 좌회전포켓이 존재한다. 교통류는 직진과 좌회전으로 구성되어 있으며, 우회전은 없다고 전제한다.

본 모형의 효율성 평가를 위해 TOD방식(T7f로 최적화)의 신호시스템을 비교군으로 설정하였다.

본 모형의 평가를 위한 모의실험의 시나리오는 총 3개로, 비포화, 근포화, 과포화시의 상황에 대한 시나리오를 설정하였고, 효과척도로는 차량당 지체도, 통과교통량, 통행속도의 값을 사용하여 이를 TOD의 값과 본 모형의 값을 비교·분석하였다.



〈그림 9〉 모의 네트워크

〈표 2〉 각 시나리오 개요

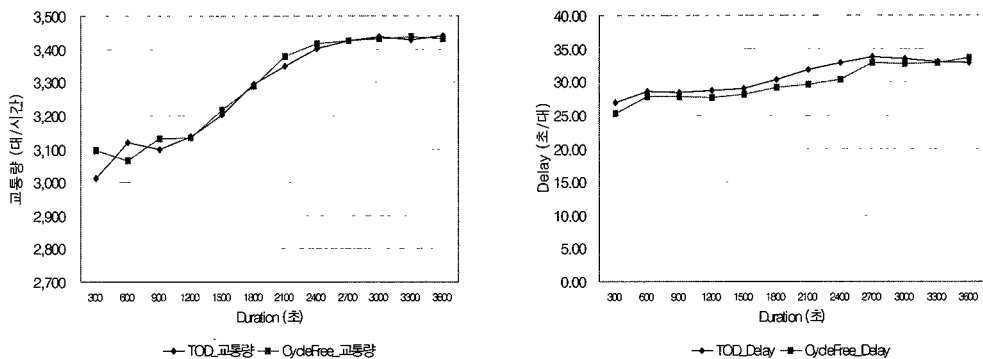
시나리오	포화도(v/c)	교통량(v/c)변화 (20분간격)	회전비율변화	비교
1	0.6	link①→②: (0.6→1.0→0.8)	link①→② 1:9→3:7→5:5	TOD (v/c = 0.6)
2	0.8	link①→②: (0.6→1.0→0.8)	link①→② 1:9→3:7→5:5	TOD (v/c = 0.8)
3	1.0	link①→②: (0.6→1.0→0.8)	link①→② 1:9→3:7→5:5	TOD (v/c = 1.0)

3. 평가 결과

1) 시나리오 1

〈표 3〉 시나리오 1: 차량지체 및 통과교통량 비교

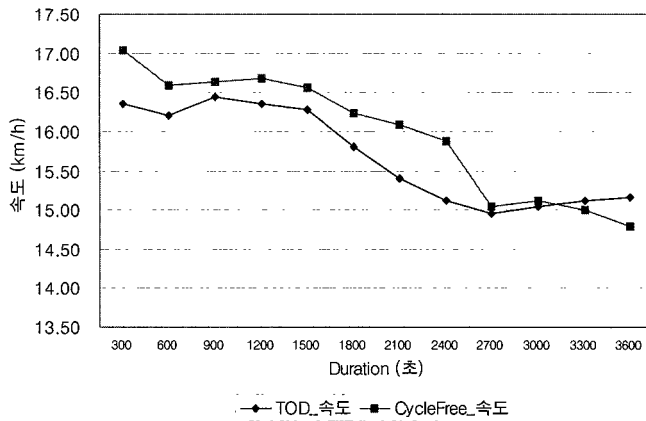
시간(sec)	TOD 지체도(sec)	본모형 지체도(sec)	TOD 교통량(vph)	본모형 교통량(vph)
900	28.45	27.80	3,100	3,132
1800	30.35	29.08	3,294	3,290
2700	33.75	32.85	3,426	3,425
3600	32.88	33.63	3,442	3,432



〈그림 10〉 차량지체 및 통과교통량 비교

〈표 4〉 시나리오 1: 차량평균통행속도 비교

시간(sec)	TOD속도(km/h)	본모형속도(km/h)
900	16.44	16.64
1800	15.80	16.24
2700	14.96	15.04
3600	15.16	14.80



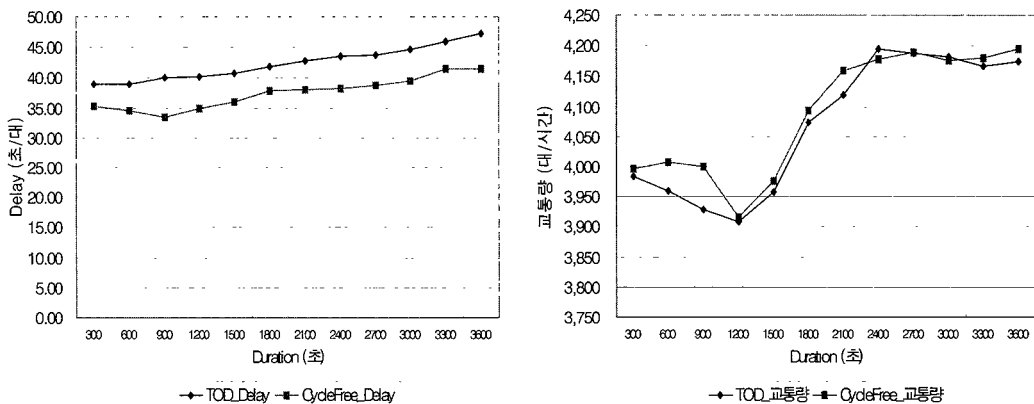
〈그림 11〉 차량평균통행속도 비교

시나리오 1의 경우, 세 방향의 시간당 교통량은 800대로 일정하고, 한 방향의 교통량에 변화를 준 결과, TOD 적용시의 차량당 평균 지체도에 비해 본 모형의 차량당 평균 지체도가 낮게 나타났으며 평균 통행속도의 경우에도, 일정 부분 효율성이 입증되었다. 다만 통과교통량의 경우 교통상황이 비포화인 점 때문에 거의 유사한 결과가 산출된 것으로 판단된다.

2) 시나리오 2

〈표 5〉 시나리오 2: 차량지체 및 통과교통량 비교

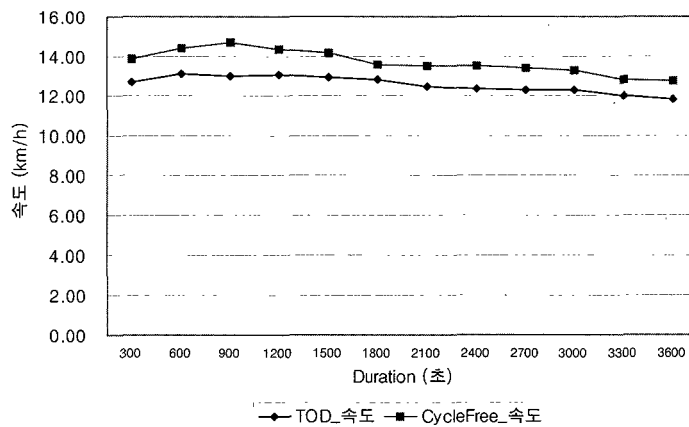
시간(sec)	TOD 지체도(sec)	본모형지체도(sec)	TOD 교통량(vph)	본모형교통량(vph)
900	40.05	33.53	3,928	4,000
1800	41.93	37.95	4,074	4,094
2700	43.80	38.73	4,187	4,190
3600	47.30	41.55	4,174	4,194



〈그림 12〉 차량지체 및 통과교통량 비교

〈표 6〉 시나리오 2: 차량평균통행속도 비교

시간(sec)	TOD속도(km/h)	본모형속도(km/h)
900	13.00	14.72
1800	12.80	13.56
2700	12.28	13.44
3600	11.80	12.76



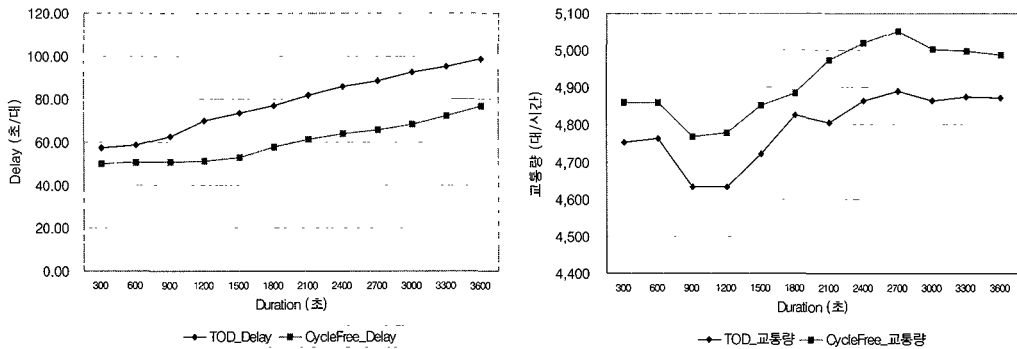
〈그림 13〉 차량평균통행속도 비교

시나리오 2의 경우, 세 방향의 시간당 교통량은 1,050대로 일정하고, 한 방향의 교통량과 회전 비율에 변화를 준 결과이다. 시나리오 1에 비하여 평균지체 및 속도에서 TOD와 비교된 본 모형의 효율성이 보다 명확하게 산출된 것으로 분석되었다. 또한 시나리오 2의 경우 현장에서 발생 가능한 회전비율의 변동이 적용된 것으로 변화하는 교통상황에 본 모형이 적절히 대응된 것으로 판단된다.

3) 시나리오 3

〈표 7〉 시나리오 3: 차량지체 및 통과교통량 비교

시간(sec)	TOD지체도(sec)	본모형지체도(sec)	TOD 교통량(vph)	본모형교통량(vph)
900	62.83	50.78	4,632	4,768
1800	76.95	57.85	4,826	4,886
2700	88.63	65.53	4,890	5,052
3600	98.35	76.78	4,872	4,987

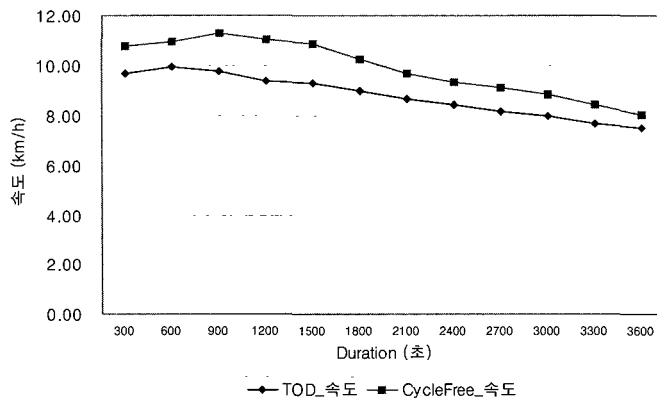


〈그림 14〉 차량지체 및 통과교통량 비교

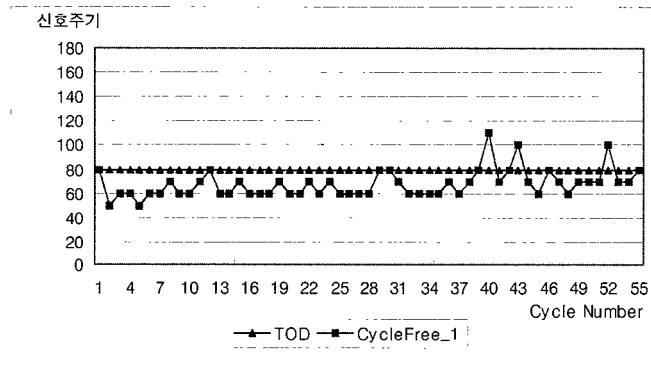
〈표 8〉 시나리오 3: 차량평균통행속도 비교

시간(sec)	TOD속도(km/h)	본모형속도(km/h)
900	9.76	11.28
1800	8.96	10.24
2700	8.20	9.12
3600	7.52	8.04

시나리오 3의 경우, 세 방향의 시간당 교통량은 1,350대로 일정하고, 한 방향의 교통량 및 회전비율에 변화를 준 것으로 과포화 교통상황을 설정한 것이다. 분석 결과, TOD 적용 시에 비하여 차량당 평균 지체도, 통과교통량, 속도 측면에서 본 모형이 보다 향상된 결과를 산출하였으며, 효율성의 크기도 시나리오 1, 2에 비하여 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.



〈그림 15〉 차량평균통행속도 비교



〈그림 16〉 신호주기길이 비교

4) 신호운영 결과비교

본 모형과 TOD의 신호주기 운영결과를 비교하면 위의 그림과 같다(시나리오 1).

그림에서와 같이 본 모형의 신호주기결과가 전반적으로 적게 산출되다 시간이 흐름에 따라 교통량이 많아지면 주기가 증가함을 보여주고 있다. 따라서 현시배분 결과 이외에 주기산정과정에서 본 알고리즘의 교통상황 대응의 유용성이 어느 정도 인정된다고 판단된다.

5) 결과종합

시나리오 1은 포화도 0.6을 기준으로, 시나리오 2는 포화도 0.8을 기준으로, 시나리오 3은 포화도 1.0을 기준으로 신호시간을 산출하였기 때문에, 결론적으로 본 모형은 비포화시 보다 포화시에 지체를 더욱 더 효율성을 갖는다고 해석 할 수 있다. 이는 대부분의 지체가 비포화시 보다 포화시에 발생하는 것을 감안할 때, 본 모형의 효율성이 인정된다고 할 수 있다. 또한 대부분의 시나리오에서 본 모형의 시간당 교차로 통과교통량이 더 크며 평균차량속도가 더 높은 것으로 나타났다.

VI. 결론

본 연구에서는 IR-DSRC 검지체계를 기반으로 개별차량의 통행시간 정보 및 순행지체자료를 수집하여 활용하는 주기변동기반 신호시간 산출모형을 설계하였으며 미시적 시뮬레이터 (CORSIM)를 이용한 내부모의실험 평가체계 구축하였다.

본 모형은 기존에 연구되었던 주기변동기반 신호제어 개념을 도입하여 매신호주기마다 접근로별 진입교통류를 자료를 이용하여 최적의 주기길이를 산정하며, 검지체계를 통해 산출되는 ID 기반의 개별차량 순행지체를 이용하여 현시분할비율을 산정하는 과정을 포함하고 있다.

기존 포화도검지체계 기반의 교통대응 신호제어모형은 포화도가 1.0 이상인 과포화시에는 교통상황의 판별력이 떨어지며, 정보를 수집하는 포화도검지기 설치지점(약 2~4m)에서의 국지적인 차량행태에 많은 영향을 받아 신호시간결정이 왜곡되는 현상이 발생하기도 하는데, 본 모형과 같이 DSRC 검지체계를 이용하면 차량의 실제 통행시간을 기초로 하여 현시비율을 산정하므로 신호제어의 대상범위가 실측 통행시간정보를 수집하는 링크상류부까지 확대되며, 개별차량의 운전행태에 따른 변동요인을 완화하여 안정적인 신호운영이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발된 모형을 평가하기 위해서 CORSIM RTE를 이용하여 정주기식신호(TOD)와 비교 평가하였고, 평가항목으로는 제어지체, 통과차량대수, 평균통행속도를 사용하였다. 평가결과, 시뮬레이션 시간동안 일정한 포화도로 교통량이 진입한 경우 주기변동기반 신호제어 알고리즘과 정주기식 신호제어가 비교적 비슷한 MOE수준으로 나타났으며, 포화도가 증가할수록 주기변동기반 신호제어알고리즘의 효과가 큰 것으로 분석되었다.

그리고 시뮬레이션 시간동안 실제 현장상황에서와 같이 교통량이나 회전비율의 변화가 발생한 경우, 또한 그 변동 폭이 큰 경우 주기변동기반신호제어가 정주기식 신호제어 보다 효율적인 것으로 나타났다. 특히, 대상교차로의 교통상황이 과포화인 경우 이동류별 지체도가 비슷한 수준으로 현시분할이 이루어져 모형의 효율성이 보다 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 다만 본 모형의 효율성 및 기능성에 대한 결과를 보다 객관화하기 위해서는 TOD 전략보다 개선된 교통대응신호제어전략 등 다양한 신호모형과의 비교, 평가가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 본 모형에서는 교차로 상류부의 진입검지기를 통과한 차량의 정지선도착을 차량군 분산모형을 통하여 예측하였는데, 향후 Micro한 모형의 적용을 통한 차량의 통행행태를 반영한 모형의 적용이 필요할 것으로 판단되며, 보다 정밀한 현장 교통상황을 반영하기 위해서 검지자료에 대한 평활화 기법이나 예측기법 등 알고리즘의 세부적인 사항에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

신호모형의 평가부분에 있어서는 검지시스템이 구축된 현장에 적용하여 알고리즘의 안정성 및 효율성을 평가할 필요가 있으며, 복수개의 신호교차로로 구성된 네트워크를 대상으로 하는 교차로간 연동 및 내외부 미터링 전략 등에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 예상된다.

참고문헌

- 이영인, 최완석, “유전자 알고리즘을 이용한 이중목적 주기변동 신호시간 결정모형 개발”, 『대한교통학회지』 제20권 제5호, pp. 81-91.
- 이영인, 『교통대응신호시스템의 효율성 평가』, 『대한교통학회지』 제13권 제1호, pp. 5-33.
- Highway Capacity Manual, special Report 209 3rd Edition TRB (1994).
- TRANSYT-7F User's Guide United state version, Univ of Florida, 2004.

William R. M, Transportation Engineering second edition, Prentice Hall.

Francois Dion, Comparison of delay estimates at under saturated and over saturated pre-timed signalized intersection, TRB part B 38 (2004) pp. 99-122.

NCHRP 457 Evaluating Intersection Improvement: An engineering study guide.